

УДК 620.952

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ
РЕАКТОРІВ-РОЗДІЛЮВАЧІВ**Г. А. Голуб**, доктор технічних наук, професор**С. М. Кухарець**, кандидат технічних наук, доцент**О. Ю. Осипчук**, аспірант**М. Ю. Павленко**, кандидат технічних наук, асистент

*Національний університет біоресурсів і природокористування
України
Житомирський національний агроекологічний університет*

Наведено результати експериментальних досліджень із визначення основних параметрів реактора-розділювача для отримання дизельного біопалива з рослинної олії. Встановлено режими роботи гідростанції, які забезпечують мінімальні затрати енергії на перемішування емульсії.

Ключові слова: реактор, розділювач, олія, біодизель, перемішування, потужність

Постановка проблеми. Одержують біодизель або метилові ефіри жирних кислот у процесі естерифікації: з тригліцеридів олій при хімічній реакції алкоголізу [1, 2, 3].

Відомо, що реакція алкоголізу найбільш повно (до 98%) проходить при застосуванні метанолу, а потім знижується із збільшенням молекулярної маси спирту (у етанолу та пентанолу складає всього 35,3 і 11,5 % за масою, відповідно) [4], тому реакцію отримання метилових ефірів жирних кислот можна назвати метанолізом.

Найбільш широкого застосування набув метаноліз олій із лужним каталізатором [5, 6, 7, 8], при якому процес отримання біопалива проходить при температурі 20 – 70⁰С. При цьому використовують лужні каталізатори NaOH та KOH у кількості від 0,3% до 1,5% за масою тригліцеридів олій.

Після естерифікації відбувається операція розділення гліцеринової та ефірної фаз. Найпростіший та найменш енергозатратний спосіб розділення – це осадження більш важкої фракції.

Враховуючи, що метанол слабо розчиняється у рослинній олії [9], після додавання розчину метилового спирту у олію, ріднини розташовуються шарами відповідно значенню їх густин. Відповідно, необхідно виконувати перемішування, що призводить до утворення двофазної системи – емульсія, у якій суцільне середовище – рослинна олія та дисперсійна фаза – розчин

метанолу із лужним каталізатором. Очевидно, щоб утримувати емульсію у дисперсійному стані, її необхідно безперервно перемішувати (турбулізувати), [10, 11]. Чим більша міжфазна поверхня тим швидше проходить естерифікація, так як вона утворює поверхню контакту реагентів. Проте, інтенсивне перемішування призводить, до завчасного руйнування міжфазної поверхні, що в свою чергу не дозволяє відбутися реакції метанолізу в повній мірі. Тому, необхідно спочатку забезпечити рівномірне пошарове перемішування емульсії в області «перемішування», або «утворення дисперсійного стану емульсії» і в подальшому провести проходження реакції естерифікації в умовах меншого рівня турбулізації суспензії в області «проходження реакції» [12, 13].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З огляду на ресурсоощадність та енергоефективність раціональні параметри технологічного процесу естерифікації повинні відповідати встановленим параметрам: температура 40°C; співвідношення спирту до олії 6:1 моль:моль; кількість каталізатору 1%; інтенсивність перемішування 1,8 Вт/л; тривалість процесу 40 хвилин [14, 15].

З метою отримання метилових ефірів жирних кислот пропонується циркуляційне перемішування, що здійснюється багатократним перекачуванням рідини по замкненому контуру. До схеми циркуляційного перемішування належать: посудина – гравітаційний розділювач, циркуляційний насос, трубопроводи, запірно-регулююча апаратура. Завдяки тому, що форсунок встановлені в корпусі гравітаційного розділювача на одному рівні по висоті і орієнтовані таким чином, щоб при перекачуванні емульсії утворювати турбулентний круговий потік емульсії у його верхній частині, забезпечується рівномірне пошарове перемішування емульсії в зоні розміщення форсунок. При відкачуванні емульсії з нижньої частини гравітаційного розділювача перемішаний шар емульсії опускається нижче, забезпечуючи проходження реакції естерифікації в умовах меншого рівня турбулізації суспензії і за рахунок цього досягається підвищення якості дизельного біопалива [16, 17].

Формулювання цілей статті. За допомогою дослідної установки циркуляційного змішувача встановити вплив числа обертів насоса, діаметра сопла та кута встановлення форсунок циркуляційних реакторів-розділювачів на потужність, що витрачається на перемішування та циркуляцію емульсії;

Виклад основного матеріалу дослідження. Для проведення досліджень енергетичної ефективності циркуляційних змішувачів було розроблено експериментальну установку (рис. 1). До її складу увійшли: циркуляційний реактор для естерифікації рослинної олії ЦРПР 2, гідростанція, керуюча, вимірювальна та фіксує апаратура (частотний перетворювача Hitachi 3G3JX A4075 EF, цифровий вимірювач DMK 30, що аналізує параметри споживання електроенергії, тахометр UT 372, ноутбук).

Для проведення випробувань використовувались ріпакова олія, яка в кількості 150 л закачувалась за допомогою гідростанції до циркуляційного змішувача для етерифікації.

Гідростанція складалася із шестеренчастого насоса НШ 100, спеціально розробленої запобіжної муфти, асинхронного електродвигуна потужністю 5 кВт та номінальною частотою обертання 1500 об/хв і системи трубопроводів, оснащених спеціальними лічильниками.



Рис. 1. Комплект обладнання для дослідної перевірки енергетичної ефективності виробництва дизельного біопалива в циркуляційних змішувачах:

1 – циркулярний змішувач, 2 – гідростанція, 3 – блок апаратури

Під час процесу роботи гідростанція забезпечувала подачу олії у форсунки, що створювали турбулентні струмені емульсії які і забезпечували необхідне перемішування та циркуляцію.

Під час проведення випробувань змінювались: діаметр форсунок d_f ; кут встановлення форсунок β_f , та частота обертів гідронасоса n_n та фіксувалась потужність W_d споживана електродвигуном в процесі перемішування та циркуляції емульсії.

Частота обертів електродвигуна змінювалась за допомогою частотного перетворювача Hitachi 3G3JX A4075 EF та фіксувалась тахометром UT 372. Споживана потужність W_d фіксувалась за допомогою цифрового вимірювача

DMK 30 та ноутбука, із встановленим відповідним програмним забезпеченням.

За регресійним нелінійним аналізом результатів досліджень енергетичної ефективності циркуляційного змішувача встановлено значення коефіцієнтів відповідного поліноміального регресійного рівняння:

$$N_d = 123,3926 - 0,4103n + 0,407d_\phi + 0,0006n - 0,0039d_\phi^2, \quad (1)$$

де N_d – потужність, що витрачається на циркуляцію та перемішування біомаси, Вт; n – число обертів гідронасоса, об/хв; d_ϕ – діаметр сопла форсунки, мм.

Адекватність запропонованого рівняння оцінено за критерієм Фішера $\Phi = 2,4645 < \Phi_T = 2,5336$.

Графічний розв'язок рівняння (1) дав змогу окреслити відповідну поверхню (рис. 2) та встановити у діапазоні обертів гідронасоса n від 800 до 1400 об/хв споживану потужність, яка незначно знижується при зміні діаметра сопла форсунки d_ϕ у межах від 9 до 30 мм, а у діапазоні від 200 до 800 об/хв при зміні діаметра сопла форсунки d_ϕ у межах від 9 до 30 мм залишається практично сталою.

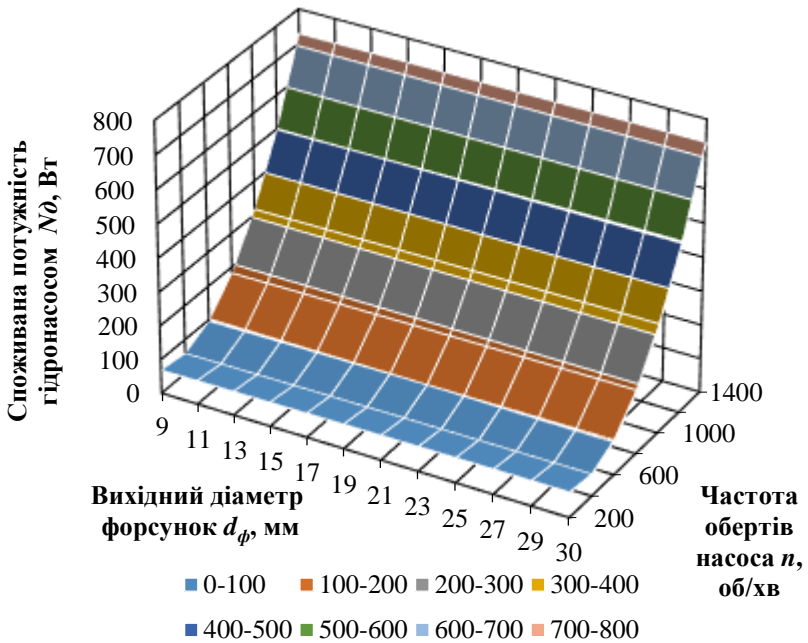


Рис. 2. Залежність потужності N_d , що витрачається на перемішування та циркуляцію емульсії від частоти обертів гідронасоса n та діаметра сопла форсунки d_ϕ

Аналіз поверхні на екстремуми дав змогу встановити, що мінімальні енерговитрати при перемішуванні та циркуляції емульсії досягаються за частоти обертів гідронасоса $n = 400$ об/хв.

Значення споживаної потужності, отримані внаслідок експериментальних досліджень, відповідають значенням потужності, розрахованим теоретично (рис. 3), відповідно до математичної моделі енергозберігаючого циркуляційного перемішування емульсії у циркуляційних змішувачах.



Рис. 3. Дослідна та теоретична залежності потужності N_d , від частоти обертання гідронасоса n (діаметр форсунки $d_f = 17$ мм)

Дослідження також дали змогу встановити емпіричну залежність між питомою потужністю n_T (Вт/м³), номінальним об'ємом реактора V_P , (м³) і діаметром сопла форсунок d_f (мм):

$$n_T = 906,39 - 246,079V_P + 4,767d_f + 0,2271V_P^2 + 7,6232V_Pd_f - 0,893d_f^2. \quad (2)$$

Дослідження залежності (2) на екстремуми дало змогу встановити, що найнижчі значення питомої потужності лежать у діапазоні діаметра сопла форсунок d_f від 10 до 35 мм і досягнуть мінімального значення $w_T = 9,8$ Вт/м³ при робочому об'ємі циркуляційного змішувача-розділювача дизельного біопалива $V_P = 50$ м³.

Отримане внаслідок пропонованого технологічного процесу із застосуванням циркуляційних реакторів змішувачів-розділювачів дизельне біопаливо має характеристики, що відповідають ДСТУ 3868-99 та ДСТУ 6081:2009.

Висновки з даного дослідження. 1. Визначено, що число обертів гідронасоса n та діаметр сопла форсунки d_f мають суттєвий вплив на дійсну потужність N_d , що витрачається на перемішування та циркуляцію емульсії в змішувачі. Кут встановлення форсунок β_f не має суттєвого впливу на витрати енергії при перемішуванні та циркуляції емульсії. В діапазоні обертів гідронасоса n від 800 до 1400 об/хв споживана потужність незначно знижується при зміні діаметр сопла форсунки d_f в межах від 9 до 30 мм. В діапазоні від 200 до 800 об/хв при зміні діаметр сопла форсунки d_f в межах від 9 до 30 мм залишається практично сталою. Мінімальні енерговитрати, на перемішування та циркуляцію емульсії об'ємом $V_p=0,15 \text{ м}^3$ в циркуляційному змішувачі ЦРПР-2 досягаються при частоті обертів гідронасоса НШ-100 $n=400$ об/хв, при цьому забезпечується достатня інтенсивність перемішування емульсії.

2. Також, встановлено, що найнижчі значення питомої потужності w_T перемішування емульсії при виробництві дизельного біопалива в циркуляційних змішувачах-розділювачах будуть належати діапазону діаметра сопла форсунок d_f від 10 до 30 мм та досягнуть мінімального значення $n_T=9,8 \text{ Вт/м}^3$ при робочому об'ємі циркуляційного змішувача-розділювача дизельного біопалива $V_p=50 \text{ м}^3$.

Бібліографічний список

1. Артамонов П.А. Переэтерификация жиров. Обзор / П.А. Артамонов. – М., 1962. – 71 с.
2. Гринберг Г. Модифицированные жиры / Г. Гринберг, Г. Щепанская. – М., 1973. – 152 с.
3. Загальна хімія: підручник для студентів вищих навчальних закладів / [Карнаухов О.І., Копілевич В.А., Мельничук Д.О. та ін.] – К.: Фенікс, 2005. – 840 с.
4. Хімія жирів: [підручник] / [Тютюнников Б.Н., Бухштаб З.І., Гладкий Ф.Ф., та ін.] За редакцією Гладкого Ф.Ф. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2002. – 452 с.
5. Семенов В.Г. Біодизельне паливо: стан і перспективи розвитку / В. Г. Семенов // Автошляховик України. - 2007. - № 2. - С. 13 - 15.
6. Термодинамічна ефективність та ресурси рідкого біопалива України / [Забарний Г. М., Кудря С. О., Кондратюк Г. Г., Четверик Г. О.]. – К.: Інститут відновлюваної енергетики, 2006. – 226 с.
7. Jon Van Gerpen Biodiesel processing and production. //Fuel Processing Technology – Volume 86 – 2005 – P. 1097-1107.
8. The Biodiesel Handbook / Editors G. Knothe, J.V. Gerpen, J. Krahl – Champaign, Illinois: AOCS Press, 2005. – 304 p.
9. J.Van Gerpen, B.Shanks, R.Pruszko, D.Clements, G.Knothe Biodiesel Production Technology. - National Renewable Energy Laboratory subcontractor report NREL/SR-510-36244, 2004. – 110 p.

10. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками / Стренк Ф.; пер. с польского под редакцией И.А. Щупляка – Л.: Химия, 1975. – 384 с.

11. Штербачек З. Перемешивание в химической промышленности / Штербачек З., Тауск П.; пер. с чешского. Под. ред. И.С. Павлушенко – Л.: Госхимиздат, 1963. – 416 с.

12. Голуб. Г.А. Ефективність виробництва дизельного біопалива із ріпакової олії /Г.А.Голуб // Вісник аграрної науки. – 2011. – № 6. – С. 33-36.

13. Голуб Г.А. Техніко-технологічне забезпечення енергетичної автономності агроєкосистеми /Г.А. Голуб// Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК – К., 2010. – Вип. 144, ч. 4. – 417 с. – С. 303-312.

14. Дубровін В.О. Розробка технологічної схеми лінії виробництва біодизельного палива з рослинних олій «холодного» віджиму / Дубровін В. О., Драгнев С. В., Даценко М. С. // Науковий вісник Національного аграрного університету – К. - 2007. - Вип. 107 (ч. 1) – С. 270-278

15. Дубровин В.А. Технологии и технические средства производства биодизельного топлива из растительных масел /Дубровин В.А., Драгнев С.В.// Аграрна техніка та обладнання. – №1(2), 2008. - С. 67-73.

16. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій / [Голуб Г.А., Павленко М.Ю., Чуба В.В., Кухарець С.М.; за ред. д-ра техн. наук, проф. Г.А. Голуба] // К. : НУБІП України, 2015. – 119 с.

17. Кухарець С. М. Аналіз процесу отримання біодизельного пального та обґрунтування основних параметрів реактора-розділювача / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб, В. М. Хрус // Зб. наук. пр. Подільського держ. аграр.-техн. ун-ту. – Спец. вип. Сучасні проблеми збалансованого природокористування: наук.-практ. конф. – 2014. – С. 164–171.

The results of experimental studies on defining the basic parameters of reactor-separator to produce biodiesel from vegetable oil. The established modes of hydrostations, which provide minimum energy costs for stirring the emulsion.

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению основных параметров реактора-разделителя для получения дизельного биотоплива из растительного масла. Установлены режимы работы гидростанции, которые обеспечивают минимальные затраты энергии на перемешивание эмульсии.